

⑩ 日本国特許庁 (JP)  
⑫ 公開特許公報 (A)

⑬ 特許出願公開

昭57-160067

⑭ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 P 9/04

識別記号

庁内整理番号  
7027-2F

⑮ 公開 昭和57年(1982)10月2日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑯ 回転センサ

⑰ 特 願 昭57-34523

⑱ 出 願 昭57(1982)3月4日

優先権主張 ⑲ 1981年3月4日 ⑳ 米国(US)  
㉑ 240518

㉒ 発 明 者 ジェイムス・マイケル・オコー  
ナー  
アメリカ合衆国48024ミシガン  
州ファーマントン・ヘイデン22  
766

㉓ 発 明 者 デイビッド・マイケル・シヤツ

ブ  
アメリカ合衆国48084ミシガン  
州トロイ・エイボンハースト26  
13  
㉔ 出 願 人 ザ・ベンディックス・コーポレ  
ーション  
アメリカ合衆国48037ミシガン  
州サウス・フィールド・ベンデ  
イックス・センター(番地な  
し)

㉕ 代 理 人 弁理士 山川政樹 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

回転センサ

2. 特許請求の範囲

(1) 回転軸線を有する支持構造体(12)と、この支持構造体(12)から前記回転軸線に平行に支持される片持ちビーム(10)とを有し、この片持ちビーム(10)は前記支持構造体(12)に与りつけられるベース端部と自由端部を有する回転センサであつて、

前記支持構造体(12)に対する平面内で前記片持ちビーム(10)の自由端部を振動させるための要素(14, 18, 20)と、

前記片持ちビーム(10)のベースにおける横方向の応力を検出して前記回転軸線を中心とする前記支持構造体(12)の回転速度に対応する値を有する信号を発生する第1のセンサ要素(22, 42)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

(2) 特許請求の範囲の第1項に記載の回転センサであつて、前記支持構造体(12)と前記片持ちビー

ム(10)は一体構造体(10, 12)であることを特徴とする回転センサ。

(3) 特許請求の範囲の第2項に記載の回転センサであつて、前記一体構造体(10, 12)の材料は単結晶材料であることを特徴とする回転センサ。

(4) 特許請求の範囲の第3項に記載の回転センサであつて、前記単結晶材料は単結晶シリコンであることを特徴とする回転センサ。

(5) 特許請求の範囲の第3項に記載の回転センサであつて、前記単結晶シリコンは前記回転軸線に平行な001結晶軸と、この001軸に垂直な110結晶軸を有することを特徴とする回転センサ。

(6) 特許請求の範囲の第5項に記載の回転センサであつて、前記片持ちビーム(10)は長方形であり、前記110結晶軸は前記片持ちビーム(10)の一方の表面に平行であることを特徴とする回転センサ。

(7) 特許請求の範囲の第6項に記載の回転センサであつて、前記1つの表面は片持ちビームの振動面に垂直であることを特徴とする回転センサ。

18)特許請求の範囲の第6項または第7項に記載の回転センサであつて、前記第1のセンサ要素(22,42)は前記片持ちビーム(10)の前記一方の表面上に前記ベース端部に近接して形成されるp形圧電抵抗素子(22)を含み、この圧電抵抗素子は前記110結晶軸に平行な軸線を有することを特徴とする回転センサ。

19)特許請求の範囲の第7項に記載の回転センサであつて、前記第1のセンサ要素(22,42)は、

前記片持ちビーム(10)の前記ベース端部に隣接して前記一方の表面上に形成され、かつ前記110結晶軸に平行な軸線を有するp形圧電抵抗素子(22)と、

前記支持構造体(12)の表面上に形成され、前記圧電抵抗素子(22)の抵抗値を示す値を有する出力信号を発生するために前記圧電抵抗素子(22)に接続される第1の増幅回路装置(42)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

20)特許請求の範囲の第1項に記載の回転センサであつて、前記片持ちビームを振動させるための前

であつて、前記片持ちビームを振動させるための前記要素(14,18,20)は、

前記片持ちビーム(10)の表面上に配置されるビーム電極(18)と、

このビーム電極(18)に近接して前記支持構造体(12)に固定される固定電極(14)と、

前記片持ちビーム(10)を振動させる静電力を発生させるために前記ビームと前記固定電極(18,14)の間に振動電位を発生する発振器(20)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

23)特許請求の範囲の第12項に記載の回転センサであつて、前記発振器(20)は、

前記片持ちビーム(10)の振動を検出してその片持ちビーム(10)の振動数に対応する周波数を有する出力信号を発生する第2のセンサ要素(34)と、

前記出力信号を増幅して前記振動電位を発生する第2の増幅器(38)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

26)特許請求の範囲の第13項に記載の回転センサ

記要素(14,18,20)は、

前記片持ちビーム(10)の表面上に配置されるビーム電極(18)と、

このビーム電極(18)に近接して前記支持構造体(12)により支持される固定電極(14)と、

前記片持ちビーム(10)を振動させる静電力を発生させる駆動電位を前記ビーム電極(18)と前記固定電極(14)の間に発生するための発振器(20)と、

を備えることを特徴とする回転センサ。

27)特許請求の範囲の第10項に記載の回転センサであつて、前記発振器(20)は、

前記片持ちビーム(10)の振動を検出して片持ちビーム(10)の振動数に対応する周波数成分を有する信号を発生する第2のセンサ要素(34)と、

この第2のセンサ要素(34)により発生された信号を増幅して前記ビームと固定電極(18,14)の間に前記振動電位を発生する第2の増幅器(38)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

28)特許請求の範囲の第5項に記載の回転センサで

であつて、前記第2のセンサ要素(34)は前記片持ちビーム(10)のベース端部近くの表面上に形成された第2の圧電抵抗素子であり、前記増幅器(38)は前記支持構造体(12)に表面上に形成された集積回路であることを特徴とする回転センサ。

29)特許請求の範囲の第14項に記載の回転センサであつて、前記第2の圧電抵抗素子(34)の軸線は前記一体構造体(10,12)の001結晶軸に平行であることを特徴とする回転センサ。

30)特許請求の範囲の第9項に記載の回転センサであつて、前記片持ちビーム(10)を振動させる前記要素(14,18,20)は、

前記片持ちビーム(10)の前記一方の表面とは反対の表面上に配置されるビーム電極(18)と、

このビーム電極(18)に近接して前記支持構造体(12)に固定される固定電極(14)と、

前記ビーム(10)を振動させる静電力を発生させるために前記ビーム電極(18)と前記固定電極(14)の間に振動電位を発生する発振器(20)と、を備えることを特徴とする回転センサ。

07特許請求の範囲の第16項に記載の回転センサであつて、前記発振器(20)は、

前記片持ちビーム(10)の表面のベース端部に近接する部分に形成され、前記片持ちビーム(10)の振動に応じて振動する抵抗値を有する第2の圧電抵抗素子(34)と、

前記支持構造体(12)の表面に形成され、前記第2の圧電抵抗素子(34)の振動する抵抗値に応じて、前記ビーム電極(18)と前記固定電極(14)の間に前記振動電位を発生する共振発振回路(38)と、

を備えることを特徴とする回転センサ。

08特許請求の範囲の第2項に記載の回転センサであつて、前記振動片持ちビーム(10)と前記第1のセンサ要素(22,42)により発生された信号の間の位相関係を検出して、前記支持構造体(12)の回転の向きを示す信号を発生する位相検出器(44)を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第1項または第18項に記載の回転センサであつて、前記第1のセンサ要素

09特許請求の範囲の第16項に記載の回転センサであつて、前記発振器(20)と前記第1の増幅回路装置(42)の出力との間の位相関係を検出して前記支持構造体の回転の向きを示す信号を発生する位相検出器(44)を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第16項または第22項に記載の回転センサであつて、前記第1の増幅回路装置(42)の出力を積分して、前記支持構造体(12)の所定位置からの全角実位を示す実位信号を発生する積分器(56)を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第16項または第22項に記載の回転センサであつて、前記第1の増幅器(42)の出力を積分して、前記支持構造体(12)の角加速度を示す角加速度信号を発生する積分器(58)を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第16項または第22項に記載の回転センサであつて、

前記第1の増幅回路装置(42)の出力を積分し

(22,42)により発生された信号を積分して、前記支持構造体(12)の所定位置からの全角実位を示す実位信号を発生する積分器(56)を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第1項または第18項に記載の回転センサであつて、前記第1のセンサ要素(22,42)により発生された信号を積分して、前記支持構造体(12)の角加速度を示す角加速度信号を発生する積分器を更に含むことを特徴とする回転センサ。

09特許請求の範囲の第1項または第18項に記載の回転センサであつて、

前記第1のセンサ要素(22,42)により発生された信号を積分して、前記支持構造体(12)の所定位置からの全角実位を示す実位信号を発生する積分器(56)と、

前記第1のセンサ要素(22,42)により発生された信号を積分して、前記支持構造体(12)の角加速度を示す角加速度信号を発生する積分器と、を更に含むことを特徴とする回転センサ。

て、前記支持構造体(12)の所定位置からの全角実位を示す実位信号を発生する積分器(56)と、

前記第1の増幅回路装置(42)の出力を積分して、前記支持構造体(12)の角加速度を示す角加速度信号を発生する積分器(58)と、を更に含むことを特徴とする回転センサ。

### 3. 発明の詳細な説明

本発明は回転センサの分野に関するものであり、とくに振動ビーム回転センサに関するものである。

回転速度を検出するため振動するリードすなわち振動する片持ちビームを使用することが知られている。米国特許第2,513,340号には弾力的な力とつづけられて電動的に駆動される音叉が開示されている。音叉が振動するとその音叉の慣性モーメントが周期的に変化する。その結果、音叉の角回転に抗する周期的な力が生ずる。弾力的な力とつづけられている音叉とそのベースの間の角度遅れすなわち角実位は角加速度すなわち角回転加速度に比例し、その周期的な力の振幅は角回転速度に比例する。

単一振動部材の概念が米国特許第2,544,648号に開示されている。この米国特許に開示されている角速度測定器においては、直列に連結されている2本のリードすなわち片持ビームが互いに直角に振動するために拘束される。第1のビームすなわち下側のビームが弾性的に拘束されて上側のビームを振動させる。上側のビームの慣性モーメントにより、その最初の振動面からの角変位に抗する周期的に変化する力が生ずる。この周期的な力は変位に比例する。下側のビームが回転すると、下側のビームの振動面に垂直な平面内で上側のビームを振動させる。上側のビームの振動の振幅は回転の角速度に比例する。前記米国特許第2,544,648号に開示されている2つの実施例においては、上側と下側のビームは圧電結晶で構成される。

米国特許第3,842,681号には米国特許第2,544,648号に開示されている振動ビームの概念が2軸角速度センサに拡張したものが開示されている。この米国特許第3,842,681号に開示されているセンサにおいては、下側の振動リードの代わりに振動する

回転ハブが用いられる。そのハブからは4本の片持ちビームがそのハブの振動軸線に垂直な十字形になつて支持され、弾性を持った部材として支持される。この振動する片持ちビームにより発生されるコリオリの力が、十字形の片持ちビームにより定められている軸線の1本を中心とする回転に抗し、他の軸線を定めるビームを十字形の平面に垂直な方向に振動させる。片持ちビームは圧電材料から作られ、十字形の平面に垂直な振動に応じて信号を出力する。

本発明は一体シリコン支持構造体から支持されて、電気的に振動させられる片持されたシリコン製ビームを有する回転センサに関するものである。ビームのベース端部表面に圧電振振素子が拡張される。その圧電振振素子は、振動ビームの長手方向に平行な軸線を中心とするそのビームの回転により発生される応力に反応するだけである。好適な実施例においては片持ちビームの振動を測定する電気信号を発生する発振回路と、圧電振振素子の近接値変化を電気信号に変化する増幅回路とが

従来の集積回路技術を用いてシリコン基板の表面に形成される。

本発明の利点の1つは、センサが部品を2個だけ有することである。本発明の別の利点は、圧電振振素子と電子回路を振動ビームの表面と支持構造体の表面にそれぞれ直接形成でき、それによりそれらの電子部品を補充的に支持する必要をなくした点である。本発明の別の利点は、従来の集積回路製造技術を用いて関連する電子装置をセンサのシリコン表面に直接作り、センサの製造コストを比較的低くすることができる点である。本発明のセンサの更に別の利点は従来の同様なセンサと比較して極めて小型なことである。以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。

本発明の振動ビーム回転センサの平面図と横断面図が第1、2図にそれぞれ示されている。この振動ビーム回転センサは、一体シリコン支持構造体12から支持されている薄い単結晶シリコン片持ちビーム10を有する。このシリコン片持ちビーム10は、「回路とシステムに関するIEEEト

ランザクション (IEEE Transactions on Circuits and Systems)」Vol. CAS 25, No. 4, 1978年4月号、所載のM.P. HrlbaekおよびR.W. Newcombの論文「シリコン・ビームの機械的共振を用いた高Q選択フィルタ (High Q Selective Filters Using Mechanical Resonance of Silicon Beams)」に示されている技術を用いて製造できる。シリコン支持構造体はベース電極14に融着される。このベース電極14は第2図に示すような金属基板とすることもできれば、第3図に示すように、シリコン基板またはガラス基板18の片持ちビーム10に面する上面の上に配置される薄い金属電極とすることもできる。

ベース電極14と、片持ちビーム10の表面に沿って配置されているビーム電極18との間に発振器20が交差電位差を生ずる。ビーム電極18は第2図に示すようにビーム10の底面に沿って配置することができるが、ビーム10の上面に沿って配置させることもできる。電極14と18の

間の交流電界がビーム10をその固有共振振動数またはその近くの振動数で振動させる周期的な静電力を発生するように、発振器20の周波数は片持ちビームの共振振動数に一致する。

一体となつている単結晶シリコンビーム10と支持構造体12との結晶軸は、その001軸がビーム10の長手方向に平行で、その110軸がビームの長手方向に垂直で、かつビームの上面に平行であるように選択される。001結晶軸と110結晶軸の向きは第1図それぞれ矢印26, 28で示される。同様に、001, 110結晶軸が第2図に矢印26, 30によりそれぞれ示されている。

p形圧電抵抗素子22がビーム10のベース端部に配置される。この場合には、圧電抵抗素子22の軸線はビーム10の結晶構造の110軸に平行にされる。この圧電抵抗素子は、周知の方法によりビームのシリコン構造中に注入または拡散させることにより作ることができる。ビームに対するシリコンの結晶軸の向きと、圧電素子の向きは、後で説明するように、この回転センサの適切な動作

作にとって重要である。

この回転センサの動作は次の通りである。発振回路20が振動静電界をビーム電極18とベース電極14の間に生ずる。この振動静電界により周期的な静電力が片持ちビーム10に加えられ、ビーム10の結晶構造の001軸と110軸により定められる平面内でビーム10の共振振動数またはその近くの振動数でビーム10を振動させる。

ビームの振動のために近くの圧電抵抗素子22の中に生ずる主応力は圧電抵抗素子22の軸線を横切る方向である。この横方向の応力に対する圧電抵抗素子22の感度は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_d \pi_d + \pi_l \pi_l + \pi_t \pi_t$$

ここに、 $\Delta R$ は圧電素子の抵抗値の変化量、 $R$ は圧電素子の静止状態における抵抗値、 $\pi_d, \pi_l, \pi_t$ は圧電抵抗素子の軸線に対して長手方向および直交方向の圧電抵抗率、 $\pi_d, \pi_l, \pi_t$ は対応する応力である。

p形圧電抵抗層についての $\pi_d$ と $\pi_l$ の値が「

ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス (Journal of Applied Physics)」33巻11月号(1961年)3322-3327ページ所載のO.N. Tufte他の論文「シリコン拡散素子圧電抵抗ダイアフラム (Silicon Diffused-Element Piezoresistive Diaphragms)」に示されている。この向きでのp素子の横方向圧電抵抗率 $\pi_l$ は零である。ビームの共振動により110軸と110軸に沿う応力は零に近いから無視できる。したがって、圧電抵抗素子22は、単結晶シリコンビームの110軸と001軸により定められる平面内でのビームの共振動には感じない。

従来の振動回転センサについて述べたように、角運動量保存則のために、トルクが作用しなければ、ビーム10はその最初の振動平面内での振動を保持する。ビーム10の長手軸32を中心として支持構造体すなわち基板12が回転すると、ビーム10にトルクが加えられて110結晶軸方向の応力が生ずる。ビーム10のベース端部に配置されている圧電抵抗素子22はこの応力に反応し

て、その抵抗値 $R$ を $\Delta R$ だけ変化させる。低感度モードで動作しているシリコン圧電抵抗素子の長手方向応力に対する感度は次式で与えられる。

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\pi_{44}}{2} \pi_d + \pi_t \pi_t$$

ここに、 $\pi_{44}$ は $138 \times 10^{-12}$  mV/dyne、 $\pi_d$ は回転に抗する振動ビームの慣性モーメントにもとづいて発生される応力である。前記Tufteにより与えられた係数 $\pi_t$ と $\pi_l$ はねじれ力により発生された横方向応力の可能な二次成分にすぎない。したがって、ビーム10の長手軸32を中心としてセンサが回転すると、圧電抵抗素子22の抵抗値が、振動ビーム10により発生されて回転に抗する力に比例する値 $\Delta R$ だけ変化する。回転に抗する力は振動ビームの慣性モーメントに比例するから、圧電抵抗素子22の抵抗値の変化量 $\Delta R$ は振動ビーム10の振動数に対応する周波数で変動し、その大きさは支持構造体12の回転速度に比例する。

この振動ビーム回転センサの第2の実施例を第4図に示す。この実施例は第1, 2図に示す実施

例と基本的には同じであるが、ビーム10の表面に、その長手軸がビーム10の001結晶軸に平行になるようにして配置される第2の圧電抵抗素子34を含む。

圧電抵抗素子34は電源B+とアースの間に固定抵抗素子36と直列になつて接続される。固定抵抗素子36と圧電抵抗素子34の共通接続点は演算増幅器38の入力端子に接続される。この増幅器38の出力端子はビーム電極18と位相検出器44に接続される。

電源B+とアースの間に圧電抵抗素子22が第2の固定抵抗素子40が直列に接続される。圧電抵抗素子22と固定抵抗素子40の共通接続点は演算増幅器42の入力端子に接続される。この増幅器42の出力端子は位相検出器44の入力端子と出力端子46に接続される。位相検出器44は出力端子46に生ずる。端子46、48は航空機の自動操縦装置またはミサイルの誘導装置のようないり装置または表示装置に接続される。

次に、第4図に示す回転センサの動作を説明す

る。圧電抵抗素子22とは対照的に、圧電抵抗素子34はビーム10の振動を感じ、その抵抗値がビーム10の振動に同期して最大値と最小値の間で振動する。直列接続されている固定抵抗素子36と圧電抵抗素子34は分圧回路網を構成し、ビーム10の共振振動数に対応する周波数を有する振動信号を抵抗素子36と34の共通接続点に生ずる。この信号は演算増幅器38により増幅されてベース電極14とビーム電極18の間に与えられ、ビーム10の振動を誘導する静電力を生ずる。ビーム10と圧電抵抗素子34および増幅器38の組合わせはハートレー発振器として機能する。この場合には、ビーム10は同調回路に等しく、圧電抵抗素子34が所望の増幅信号を与える。電極14と18の間に与えられる演算増幅器38の出力信号がビーム10の振動を誘導させるのに適切な位相を有するように、増幅器38が必要な移相機能を有するものと仮定している。

第1、2図を参照して説明した圧電抵抗素子22はビーム10の単振動には感じないが、支持構造

体が回転軸32を中心に回転させられた時に発生される応力に応じて抵抗値を変化する。この抵抗値変化は、固定抵抗素子40と圧電抵抗素子22の接続点において電圧信号に変えられる。この電圧信号はバッファ増幅器として機能する演算増幅器42により増幅される。この増幅器42の出力は支持構造体12が回転させられる速度を示す振幅と、支持構造体の回転の向きを示す、ビーム10に対する位相とを有する信号である。増幅器38、42の出力信号の位相は位相検出器44において比較される。この位相検出器44は、それら2つの信号が同相（これは支持構造体が第1の向きに回転させられていることを示す）の時に第1の信号を生じ、2つの信号が180度位相が異なる（これは支持構造体が上記第1の向きとは逆の向きに回転させられていることを示す）時に第2の信号を生ずる。

次に第5図を参照する。固定抵抗素子36、40は演算増幅器38、42とともに、従来の集積回路技術により、支持構造体12の表面に直接拡散

または注入により作ることができる。電池50のような電源が端子52を介して電力をこれらの電子回路と圧電抵抗素子に電力を供給する。端子48は第4図に示す端子46と同じもので、回転軸32を中心として支持構造体が回転させられる速度を示す増幅器42の出力を受ける。位相検出器44は、第4図に示すように独立した回路装置とすることもできれば、第5図に示すように増幅器38、42とともにシリコン支持構造体の表面に作り込むこともできる。

次に第6図を参照する。この図には第5図に示すような種類の回転センサ50が利用装置54とともに示されている。利用装置54はたとえば航空機の自動操縦装置、ミサイル誘導装置または単なる表示パネルなどである。回転センサ50の端子46、48に現われる出力信号は、第5図を参照して説明したように、増幅器42と位相検出器44の出力である。端子46、48は信号発生器52に接続される。この信号発生器52は増幅器42の出力信号の振幅を回転速度信号に変換する。

この回転速度信号は検出した回転速度を示すアナログ信号、周波数信号またはデジタル信号として得ることができる。信号発生器62は回転の向きを示す信号も発生する。信号発生器62の出力は利用装置64に与えられる。

信号発生器62により発生された回転速度信号は積分器66へも与えることができる。この積分器66は回転速度信号を時間について積分して、基準位置からのセンサの全回転(角)変位を示す変位信号すなわち変位信号を発生する。この変位信号も利用装置で利用できる。

信号発生器62により発生された信号は微分器68に与えることもできる。この微分器は回転速度信号を時間について微分し、センサ60の回転加速度を示す回転(角)加速度信号を発生する。この回転加速度信号も利用装置64で利用できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の回転速度センサの一実施例の平面図、第2図は第1図に示す実施例の横断面図、第3図はベース電極の別の構造を示すセンサの横

断面図、第4図は増圧電圧抵抗素子を有する本発明の回転速度センサの第2の実施例の平面図、第5図はシリコン支持構造体の表面に増幅回路と増幅回路が直接形成された本発明の回転速度センサの第3の実施例の平面図、第6図は利用装置に組合わされた回転センサのブロック図である。

10・・・片持ちビーム、12・・・支持構造体、14・・・固定電極、18・・・ビーム電極、20・・・発振器、22、34・・・圧電抵抗素子、38、42・・・増幅器、44・・・位相検出器、56・・・積分器、68・・・微分器。

特許出願人 ザ・ペンディックス・コーポレーション

代理人 山川 政 樹 (ほか1名)



